

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
”Київський політехнічний інститут”

**ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СТАНУ ВОДИ І
ВОДЯНОЇ ПАРИ В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ
“HS-DIAGRAM V.2.01” ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ЦИКЛІВ ПСУ**

Методичні рекомендації
до виконання комп’ютерного практикуму
для студентів напрямів підготовки «Теплоенергетика»
і «Електротехніка та електротехнології»

Київ
НТУУ «КПІ»
2013

Визначення параметрів стану води і водяної пари в програмному середовищі “HS-diagram v.2.01” для розрахунку циклів ПСУ [Текст]: метод. рек. до викон. комп’ютерного практикуму для студ. напрямів підготовки 6.050601 «Теплоенергетика» і 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» / Уклад: В.В. Дубровська, В.І. Шкляр – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 38 с.

Рекомендовано вченою радою
Інституту енергозбереження та енергоменеджменту, НТУУ „КПІ”
(Протокол № 3 від 28 жовтня 2013 р.)

Навчальне видання

**Визначення параметрів стану води і водяної пари в
програмному середовищі “HS-diagram v.2.01”
для розрахунку циклів ПСУ**

Методичні рекомендації
до виконання комп’ютерного практикуму
для студентів напрямів підготовки «Теплоенергетика»
і «Електротехніка та електротехнології»

Укладачі: В.В. Дубровська, канд. техн. наук, доц.
В.І. Шкляр, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний
редактор В.І. Дешко, д-р. техн. наук, проф.

Рецензент Г.М. Васильченко, канд. техн. наук, доц.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 Мета роботи.....	5
2 Основні теоретичні відомості	6
2.1 Процеси з водяною парою.....	6
2.2 Цикли паросилових установок.....	8
2.2.1 Цикл Ренкіна.....	8
2.2.2 Цикл з проміжним перегрівом пари	11
2.2.3 Цикл з регенеративним підігрівом живильної води	13
3 Опис програми “HS-DIAGRAM V.2.01”.....	16
4 Побудова процесів з водяною парою та циклів ПСУ в діаграмах програмного середовища “HS-DIAGRAM V.2.01”..	20
5 Послідовність виконання роботи та оформлення звіту.....	33
6 Контрольні запитання	37
Список рекомендованої літератури.....	38
ДОДАТОК.....	39

ВСТУП

Сучасна енергетика України значною мірою базується на використанні теплових електростанцій. Сьогодні на ТЕС виробляється 41 % усієї електричної енергії України. Тому питання про ефективність термодинамічних циклів, за якими працюють паросилові установки (ПСУ) теплових електростанцій, стоїть дуже гостро.

При розрахунках ПСУ виникає необхідність побудови циклів та визначення параметрів робочого тіла (води та водяної пари) у характерних точках. Для цього користуються **h-s**-діаграмою стану водяної пари. Але використання друкованих діаграм не дає можливості отримати точні результати і вимагає багато часу.

Програмне середовище “**HS-diagram v.2.01**” [1] дозволяє:

- будувати процеси, з яких складається цикл термодинамічної установки;
- точно визначати параметри робочого тіла у термодинамічному процесі;
- розглядати процес (цикл) у діаграмах: **h-s**, **T-s**, **p-v**, **p-s**, та **p-T**.

Для отримання навичок роботи з програмою та закріплення методики побудови термодинамічних циклів пропонується розглянути ПСУ, які працюють за циклами: Ренкіна; з проміжним перегрівом пари та з регенеративним підігрівом живильної води.

1 МЕТА ТА ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ РОБОТИ

Мета роботи – закріпити та поглибити знання, отримані при вивченні курсу «Технологія виробництва електричної енергії» (розділи «Реальні гази» та “Цикли ПСУ”) та “Енергетичні системи та комплекси 1. Джерела енергії ” (розділ “Цикли ПСУ”); ознайомитись з методикою побудови процесів з водяною парою та визначення параметрів її стану в програмному середовищі “**HS-diagram v.2.01**”, побудувати основні цикли ПСУ (цикл Ренкіна та його модифікації) та визначити параметри робочого тіла в характерних точках циклів.

Основні завдання роботи:

- 1) ознайомитись з структурою та роботою програмного середовища “**HS-diagram v.2.01**”;
- 2) навчитися будувати процеси з водяною парою в програмі “**HS-diagram v.2.01**” за відомими початковими та кінцевим параметрами робочого тіла з визначенням параметрів стану водяної пари в характерних точках;
- 3) у відповідності з варіантом, побудувати графічні зображення циклів ПСУ на діаграмах в програмному середовищі з визначенням параметрів робочого тіла в характерних точках циклу;

2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

2.1 Процеси з водяною парою.

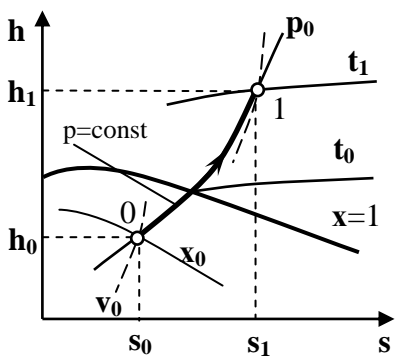
Для аналізу роботи ПСУ суттєве значення мають ізохорний, ізобарний, ізотермічний і адіабатний процеси (рис.1). Розрахунок їх можна виконати або за допомогою таблиць, або за допомогою **h-s** діаграми. Перший спосіб більш точний, а другий більш простий і наочний.

Загальний метод розрахунку за **h-s** діаграмою полягає у наступному. Відомі:

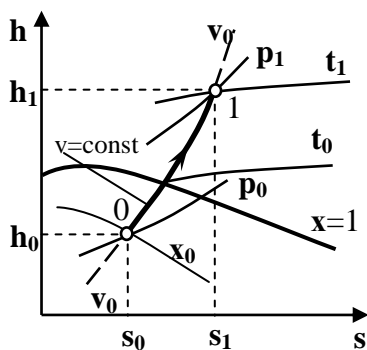
- початкові параметри (не менше двох) точки 0 (рис. 1);
- характер процесу;
- один кінцевий параметр точки 1 (рис. 1).

За відомими початковими параметрами наноситься початковий стан робочого тіла - точка 0 (рис. 1), а потім проводиться лінія процесу і визначаються його параметри у кінцевому стані - точка 1 (рис. 1).

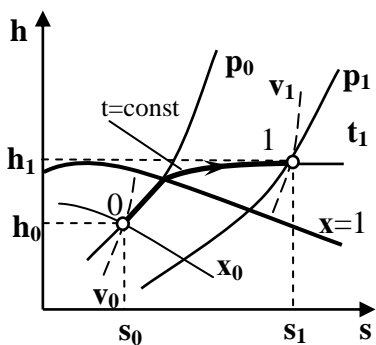
Розрахункові співвідношення для обчислення зміни внутрішньої енергії, роботи і кількості теплоти в процесах з водяною парою [2] наведені в таблиці 1.



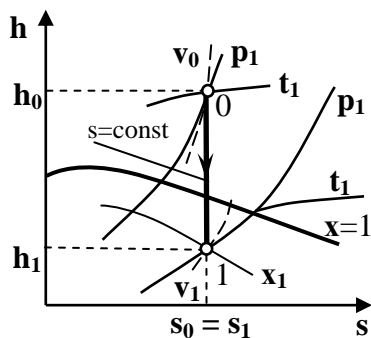
а) ізобарний процес



б) ізохорний процес



в) ізотермічний процес



г) адіабатний процес

Рис. 1 Графічне зображення основних термодинамічних процесів з водяною парою в h - s діаграмі.

Таблиця 1

Процес	Зміна внутрішньої енергії	Кількість роботи	Кількість теплоти
Ізохорний $v=\text{const}$	$\Delta u = (h_2 - p_2 v) - (h_1 - p_1 v) =$ $= h_2 - h_1 - v(p_2 - p_1)$	$l = 0$	$q = \Delta u$
		$l_{\Pi} = -v(p_2 - p_1)$	
Ізобарний $p=\text{const}$	$\Delta u = (h_2 - p v_2) - (h_1 - p v_1) =$ $= h_2 - h_1 - p(v_2 - v_1)$	$l = q - \Delta u = p(v_2 - v_1)$	$q = h_2 - h_1$
		$l_{\Pi} = 0$	
Ізотермічний $T=\text{const}$	$\Delta u = (h_2 - p_2 v_2) - (h_1 - p_1 v_1)$	$l = q - \Delta u$	$l = q = T(s_2 - s_1)$
		$l_{\Pi} = q - \Delta h$	
Адіабатний $q=0$	$\Delta u = (h_2 - p_2 v_2) - (h_1 - p_1 v_1)$	$l = -\Delta u = u_1 - u_2$	$q = 0$
		$l_{\Pi} = -\Delta h = h_1 - h_2$	

2.2 Цикли паросилових установок

Термодинамічною основою роботи сучасної теплової електростанції є цикл Ренкіна.

2.2.1 Цикл Ренкіна

Цикл Ренкіна може бути здійснений в паросиловій установці, наведеній на рис. 2.

Цикл складається з наступних процесів: **0-1** – адіабатне розширення пари на лопатках парової турбіни; **1-2** – конденсація пари в конденсаторі; **2-3** – стиснення води в живильному насосі;

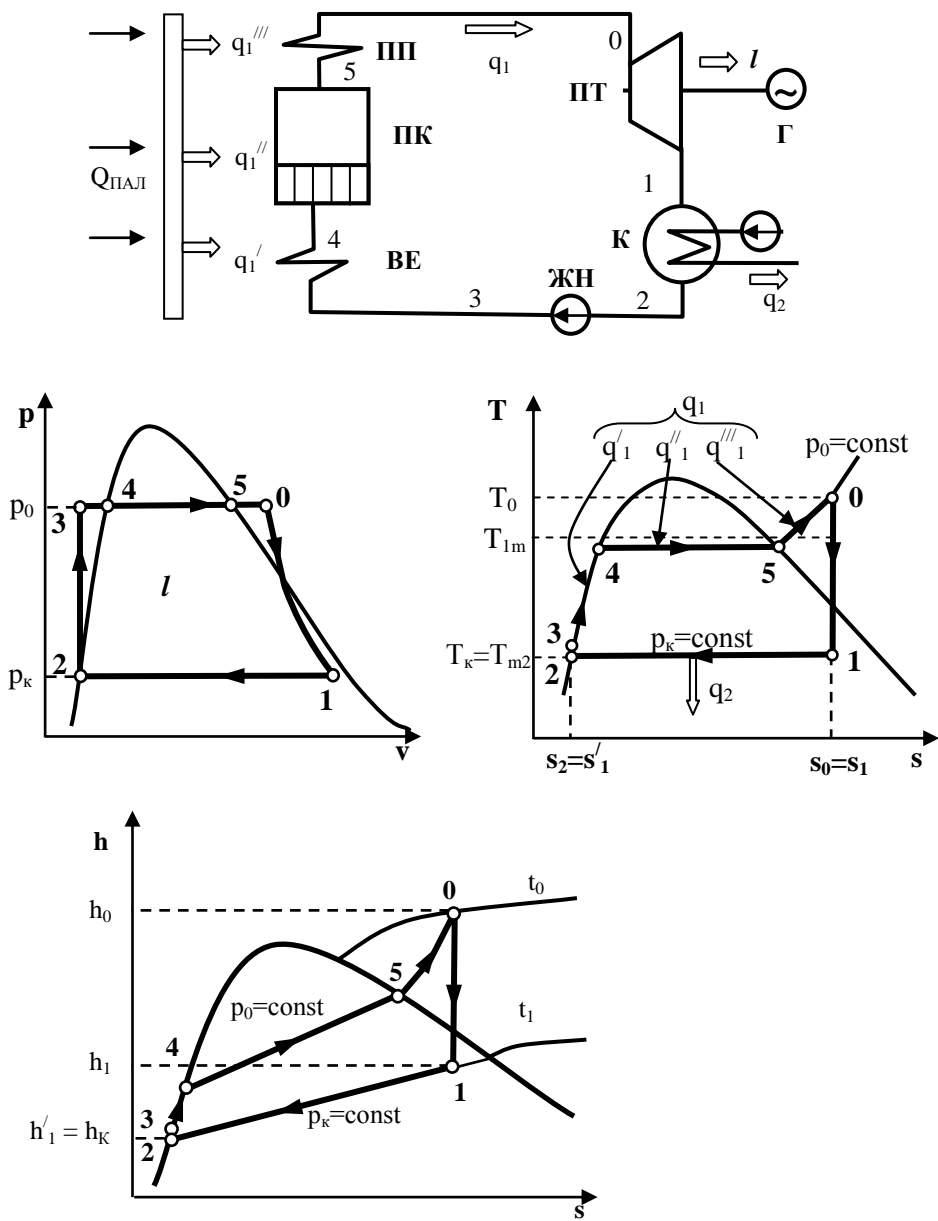


Рис. 2. Схема ПСУ та цикл Ренкіна в p - v , T - s та h - s діаграмах.

3-4 – підігрів води до температури кипіння у водяному економайзері і котлі; **4-5** – пароутворення в котлі; **5-0** – перегрівання пари в пароперегрівачі.

Для визначення ККД циклу необхідно знайти параметри робочого тіла в характерних точках циклу (рис.2).

Термічний ККД циклу Ренкіна визначають з рівняння:

$$\eta_t^p = \frac{1}{q_1} = \frac{h_0 - h_1}{h_0 - h_1'}.$$

Побудову циклу проводимо за наступною методикою:

1. За відомими значеннями тиску – p_0 і температури t_0 знаходимо положення точки **0** на **h-s** діаграмі та визначаємо її параметри:

$$(h_0, s_0) = f(p_0, t_0).$$

2. Вважаємо процес розширення пари в турбіні ізоентропним. Точку 1 знаходимо на перетині лінії $s_0 = \text{const}$ з лінією тиску в конденсаторі $p_K = \text{const}$ (або $t_K = \text{const}$) та визначаємо параметри робочого тіла на виході з турбіни (на вході в конденсатор):

$$h_1 = f(p_K, s_1 = s_0).$$

3. За відомим тиском в конденсаторі p_K визначаємо параметри в точці 2 за таблицею [3] або з рівняння:

$$(h_2, s_2) = (h_2', s_2') = f(p_K),$$

$$h_2 = h_1' = c_p \cdot t_1 = 4,19 \cdot t_1.$$

У випадку використання електронних діаграм параметри точки **2** визначають на діаграмі.

4. Процес стиснення води в насосі вважаємо ізоентропним тому точку 3 знаходимо на перетині лінії $s_2 = \text{const}$ з лінією тиску $p_0 = \text{const}$ та визначаємо параметри робочого тіла на вході в котел:

$$h_3 = f(p_0, s_3 = s_2).$$

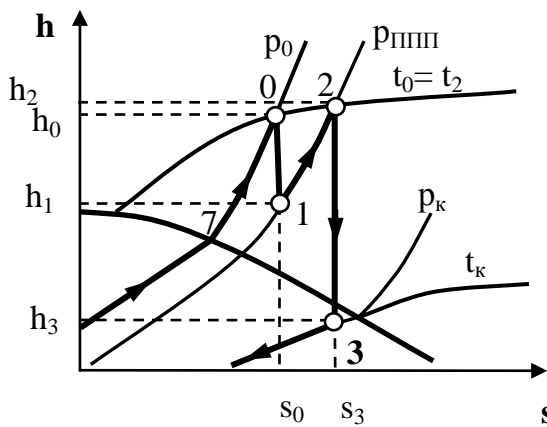
5. Параметри точок 4 та 5 визначаємо на перетині $p_0 = \text{const}$ та нижньої і верхньої граничних кривих або за таблицею [3] за тиском пари перед турбіною p_0 :

$$(h_4, s_4) = (h_4'', s_4'') = f(p_0),$$

$$(h_5, s_5) = (h_5', s_5') = f(p_0).$$

2.2.2 Цикл з проміжним перегрівом пари

Проміжний перегрів пари є одним із способів підвищення ККД циклу та ступеня сухості пари в останніх ступенях турбіни. Принципова схема циклу Ренкіна з проміжним перегрівом пари наведена на рис.3. У цій схемі турбіна складається з двох частин: ЧВТ - частина високого тиску та ЧНТ – низького тиску. В котельному агрегаті розташовані: основний пароперегрівач - ПП і проміжний - ППП. Пара після ЧВТ надходить до проміжного пароперегрівача для вторинного перегріву і далі поступає в наступну частину турбіни – ЧНТ для подальшого розширення.



12

Цикл складається: **0-1** – адіабатне розширення пари на лопатках ЧВТ турбіни; **1-2** – вторинний перегрів пари в проміжному пароперегрівачі; **2-3** – адіабатне розширення пари на лопатках ЧНТ турбіни; **3-4** – конденсація пари в конденсаторі; **4-5** стиснення живильної води в насосі; **5-6** – підігрів води до температури кипіння у водяному економайзері і котлі; **6-7** – пароутворення в котлі; **7-8 (7-0)** – перегрівання пари в пароперегрівачі.

Термічний ККД циклу визначають за формулою:

$$\eta_t^{\text{III}} = \frac{(h_0 - h_1) + (h_2 - h_3)}{(h_0 - h_5) + (h_2 - h_1)}.$$

Треба зауважити, що застосування проміжного перегріву може підвищити термічний ККД, якщо середня температура підведення теплоти в процесі вторинного перегріву пари буде вища, ніж середня температура підведення теплоти в основному циклі.

2.2.3 Цикл з регенеративним підігрівом живильної води

Регенеративним підігрівом живильної води (РПЖВ) називається процес підігрівання живильної води паром, що частково відпрацювала в турбіні та виконала в ній роботу.

Особливість циклу полягає в тому, що конденсат після конденсатора з температурою $t_2=28-30^0\text{C}$, перш ніж поступити в паровий котел ПК, підігрівається в спеціальних теплообмінниках П1-П3 (рис.4) паром, яка відбирається з проміжних ступеней турбіни.

Цикл ПСУ з регенеративним підігрівом живильної води (регенеративний цикл), строго кажучи, не можна зображувати на **T-s** діаграмі, оскільки вона будується для постійної кількості пари по довжині турбіни, а в нашому випадку вона змінюється. Тому цикл, показаний на рис.4, є дещо умовним.

Застосування регенеративного підігрівання живильної води збільшує термічний ККД циклу ПСУ на 8-12%.

Цикл складається з наступних процесів: **0-1** – адіабатне розширення пари на лопатках парової турбіни до першого відбору; **1-2** – адіабатне розширення пари на лопатках парової турбіни від першого до другого відборів; **2-3** – адіабатне розширення пари на лопатках парової турбіни від другого до третього відборів; **4-5** – конденсація пари в конденсаторі; **5-6, 7-8, 9-10** та **11-12** стиснення води в насосах; **6-7, 8-9** та **10-11** – підігрів води до заданої температури у регенеративних підігрівачах; **12-13** – підігрів води до температури кипіння у водяному економайзері і котлі; **13-14** – пароутворення в котлі; **14-0** – перегрівання пари в пароперегрівачі.

Термічний ККД регенеративного циклу дорівнює:

$$\eta_t^{\text{РЕГ}} = \frac{(h_0 - h_{n+1}) - \sum_1^n \alpha_i (h_i - h_{n+1})}{h_0 - h_1'}.$$

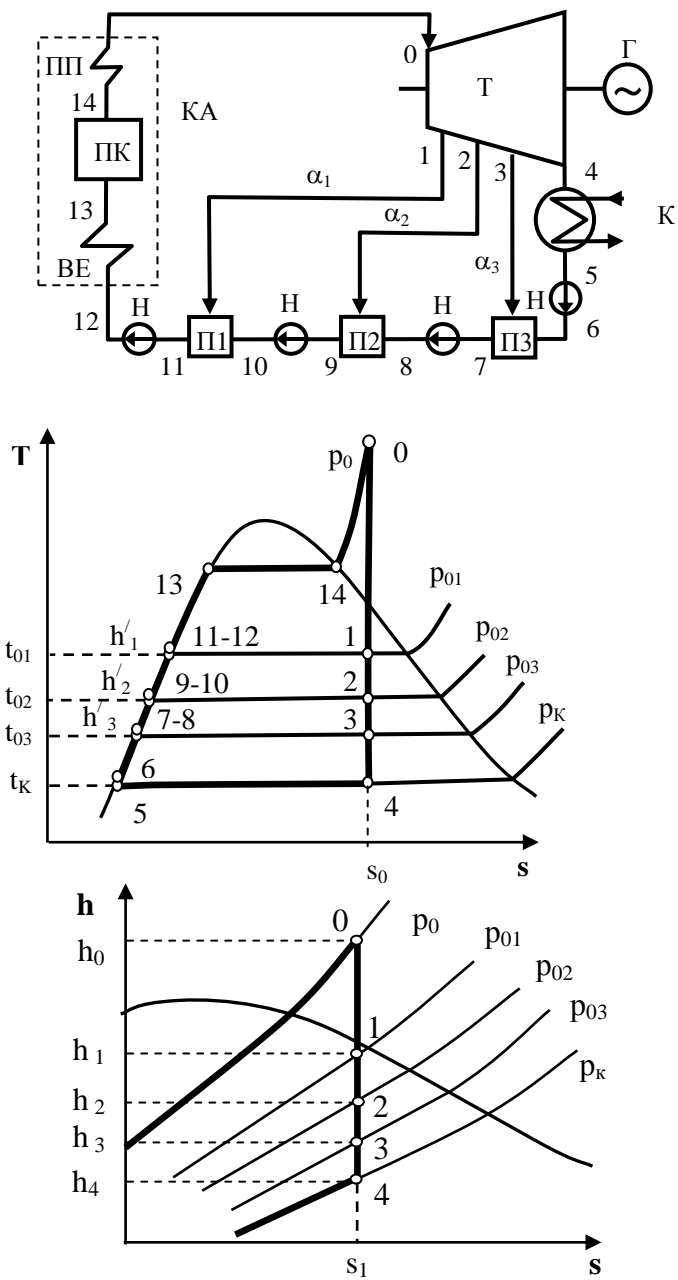


Рис. 4. Схема та цикл ПСУ з РПЖВ.

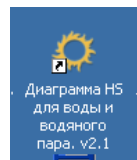
3 ОПИС ПРОГРАМИ “HS-DIAGRAM V.2.01”

Програма “HS-diagram v.2.01” є імітатором діаграм HS, TS, PS, PT, PV для води та водяної пари з розрахунком теплофізичних властивостей за формуляром IAPWS-IF97 і доповнень до нього. Інтерфейс програми написано російською мовою. В залежності від положення курсору (управління за допомогою «миші» і стрілками клавіатури) визначаються та виводяться на екран параметри p , T , h , s , v , x обраної точки. Можливе також ручне введення даних та переміщення для режимів: « p -const», « T -const», « h -const», « s -const», « v -const», « x -const». В програмі є можливість побудови та перегляду термодинамічних циклів зі збереженням у файлі.

Недолік програми полягає у відсутності можливості побудови інших процесів, наприклад, дійсних процесів в паровій турбіні чи насосі з урахуванням внутрішніх ККД агрегатів.

Програма “HS-diagram v.2.01” є у вільному доступі в Інтернеті.

Після встановлення програми на комп’ютері, вона відкривається подвійним натисканням на ярлик, який розташований на «Робочому столі» .



На екрані з’являється робоче вікно програми (рис.5), де в рядку головного меню розміщені команди: «Файл», «Вид», «Сетка», «Режим», «Выбор», «Редактор» та «О программе», які мають свої внутрішні меню (рис. 6).

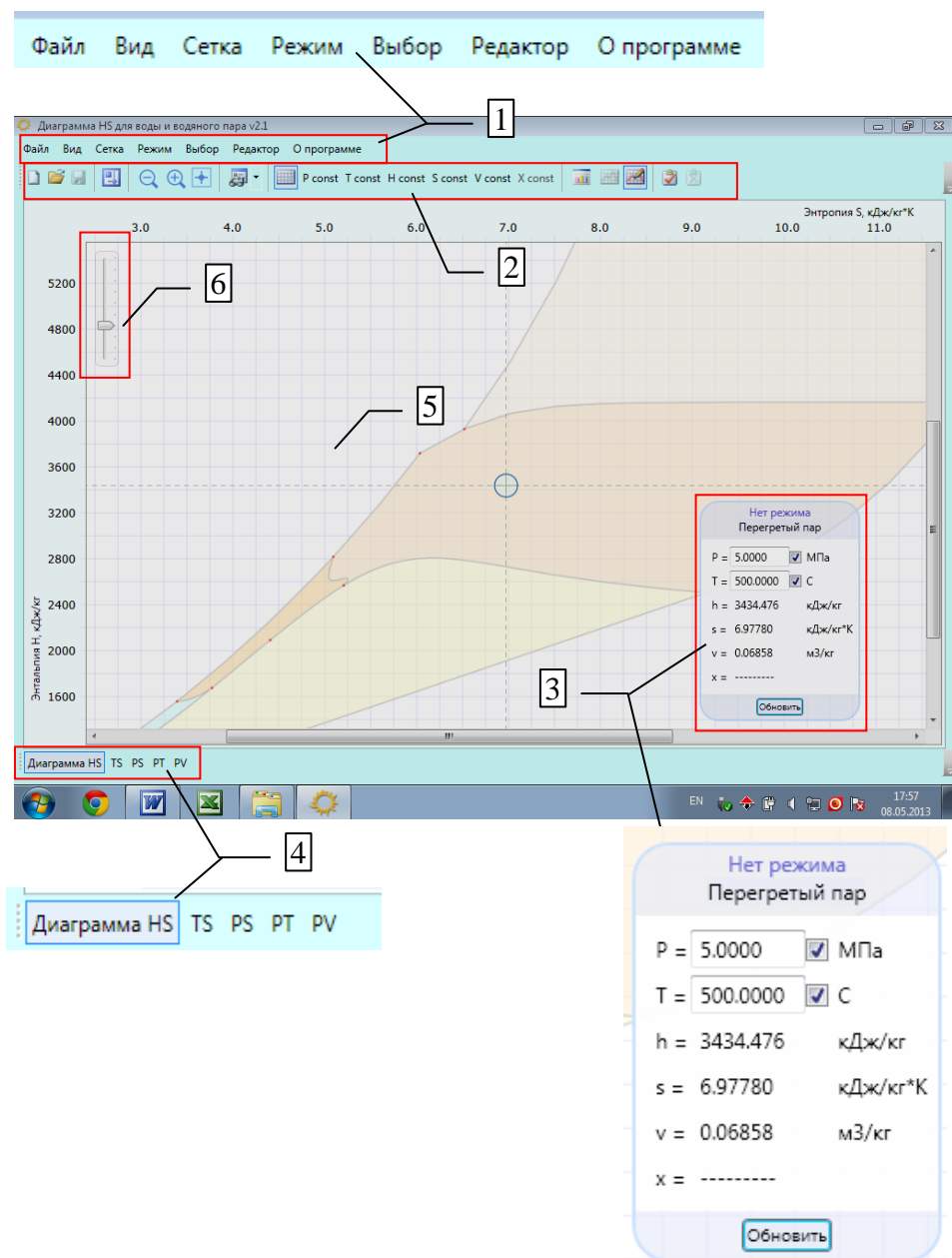


Рис. 5 Рабочее вікно програми “HS-diagram v.2.01”.

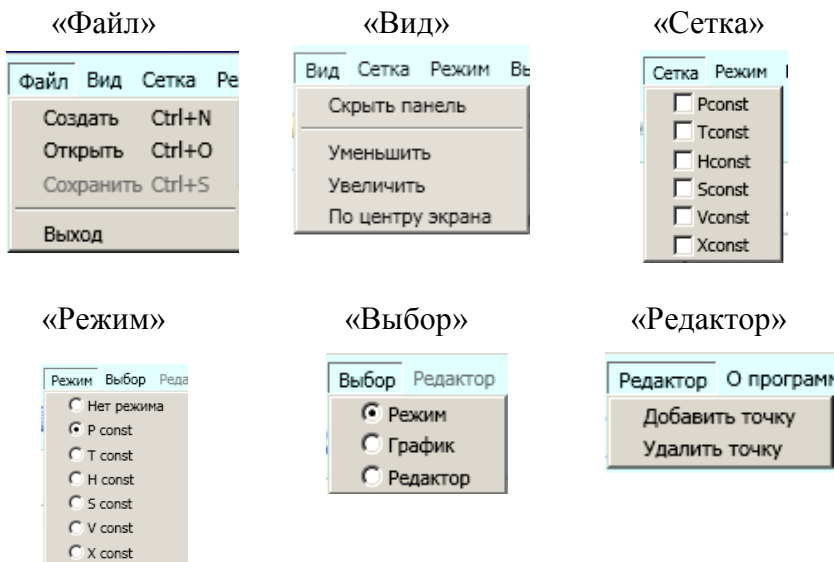


Рис. 6. Внутрішні меню головного меню.

Під основним меню розташована панель інструментів даної програми з піктограмами команд (рис.7):

1. «Файл»:

- «Создать новый график» (поз. 1),
- «Открыть файл с графиком» (поз. 2),
- «Сохранить график» (поз. 3);

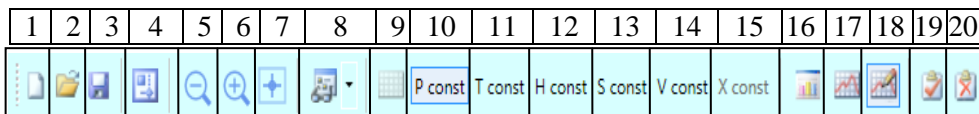


Рис.7 Піктограми команд.

2. «Вид»:

«Скрыть панель данных» (поз. 4), «Уменьшить масштаб» (поз. 5), «Увеличить масштаб» (поз. 6), «Переместить указатель в центр экрана» (поз. 7);

3. «Сетка»: Выбор сетки (поз. 8)

4. «Режим»: Свободный для всех параметров режим (поз. 9), p-const (поз. 10), T-const (поз. 11), h-const (поз. 12), s-const (поз. 13), v-const (поз. 14), x-const (поз. 15);

5. «Выбор»: Перемещение по режиму (поз. 16), Просмотр графика (поз. 17), Редактор графика (поз. 18);

6. «Редактор»: Добавить выбранную точку (поз. 19), Удалить последнюю точку (поз. 20).

На робочому полі (рис. 5, поз. 5) знаходиться «Панель данных» (рис. 5, поз. 3) для внесення значень параметрів певної точки. При її відсутності необхідно натиснути відповідну піктограму на панелі інструментів (рис. 7, поз. 4).

В нижній лівій частині робочого поля знаходяться кнопки зміни діаграм (рис. 5, поз. 4)

4 ПОБУДОВА ПРОЦЕСІВ З ВОДЯНОЮ ПАРОЮ ТА ЦИКЛІВ ПСУ В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ “HS-DIAGRAM V.2.01”

Побудова процесів водяної пари та циклів ПСУ базується на однакових принципах, тому роботу з програмою будемо розглядати на прикладі побудови циклу, який складається з окремих процесів.

Побудова циклу роботи ПТУ, що працює за циклом Ренкіна, в програмному середовищі “**HS-diagram v.2.01**” виконується в наступному порядку:

1. Відкриваємо програму “**HS-diagram v.2.01**”.
2. Для початку роботи в головному меню відкриваємо команду “**Файл**” (рис.5, поз. 1) і обираємо пункт меню “**Создать**”.
3. Обираємо тип діаграми (рис.5, поз. 4) для побудови циклу. Наприклад, HS діаграма.
4. Масштаб діаграми можна змінювати у вкладці «Вид» або за допомогою курсору масштабу на самій діаграмі (рис.5, поз.5) чи натисканням піктограми команди на панелі інструментів.
5. У вкладці «Сетка» є можливість змінювати сітку діаграми.
6. Для побудови циклу задаємо параметри першої точки (точки **0**), тобто тиск (**p_0 , МПа**) і температуру (**t_0 , °C**) водяної пари на вході в турбіну. На панелі даних (рис.5, поз. 3) позначаємо параметри, якими задана точка **0** (наприклад, **p_0**), після чого вносимо значення у відповідний рядок. Аналогічно вносимо данні і для другого параметру (наприклад, **t_0**) точки **0** і натискаємо “**Обновить**”.

7. В головному меню відкриваємо команду “**Редактор**” і обираємо пункт “**Добавить точку**” або на панелі інструментів обираємо піктограму - “**Добавить выбранную точку**”. На діаграмі з’явиться точка **0**. На панелі інструментів позначиться режим **p-const**. Значення параметрів з панелі даних для точки **0** переносимо до табл.2.

Таблиця 2.

Параметри точок циклу Ренкіна

Параметри	Номер точки на діаграмі					
	0 (6)	1	2	3	4	5
p, МПа						
t, °C						
h, кДж/кг						
s, кДж/кг·К						
v, м ³ /кг						
x						

8. Побудова процесу розширення пари в турбіні **0-1**. Для визначення положення точки 1 на панелі інструментів встановлюємо режим **s-const** натисканням відповідної піктограми (або в команді “**Режим**” головного меню). На панелі даних позначаємо параметр **p** і вносимо значення **p_к** у відповідний рядок і натискаємо “**Обновить**”. При натисканні на піктограму “**Добавить выбранную точку**” – отримуємо точку **1**. Значення параметрів з панелі даних для точки **1** переносимо до табл.2.

9. Побудова процесу конденсації вологої пари в конденсаторі **1-2**. Встановлюємо режим **p-const**. Позначаємо на панелі даних параметр x і вносимо значення **0** у відповідний рядок і натискаємо “**Обновить**”, потім піктограму “**Добавить выбранную точку**” – отримуємо точку **2**. Значення параметрів з панелі даних для точки **2** переносимо до табл.2.

10. Побудова процесу стиснення живильної води в насосі **2-3**. Встановлюємо режим **s-const**. Позначаємо на панелі даних параметр p і вносимо значення p_0 у відповідний рядок і натискаємо “**Обновить**”, потім піктограму “**Добавить выбранную точку**” – отримуємо точку **3**. Значення параметрів з панелі даних для точки **3** переносимо до табл.2.

11. Побудова процесу підігріву живильної води в водяному економайзері **3-4**. Встановлюємо режим **p-const**. В програмі не передбачена можливість побудови точки **4** при значенні $x=0$, так як для води не існує поняття ступеня сухості. Для побудови точки **4** необхідно за допомогою курсору перемістити рухоми точку на робочій області (точка у вигляді кола на лінії процесу) в область вологої насиченої пари, потім позначити на панелі даних параметр x і внести значення **0** у відповідний рядок. Натискаємо “**Обновить**” та піктограму “**Добавить выбранную точку**” – отримуємо точку **4**. Значення параметрів з панелі даних для точки **4** переносимо до табл.2.

12. Побудова процесу пароутворення в котлі **4-5**. Позначаємо на панелі даних параметр x і вносимо значення **1**, натискаємо **“Обновить”** та піктограму **“Добавить выбранную точку”** – отримуємо точку **5**. Значення параметрів з панелі даних для точки **5** переносимо до табл.2.

13. Побудова процесу перегріву пари в пароперегрівачі **5-6 (5-0)**. Позначаємо на панелі даних параметр T і вносимо значення t_0 , натискаємо **“Обновить”** та піктограму **“Добавить выбранную точку”** – отримуємо точку **6**.

14. Для перегляду побудованого циклу необхідно перейти в режим «Просмотр графика» (рис. 7, поз. 17).

Таким чином побудовано цикл Ренкіна в **h-s** діаграмі програмного середовища **“HS-diagram v.2.01”**. Одночасно цикл автоматично будується і в інших системах координат програми.

Після побудови циклу, його необхідно зберегти за допомогою піктограми «Сохранить график» (рис. 7, поз. 3)

Для побудови звичайних процесів в діаграмах виконуються пункти 1-6 зі зміною в разі необхідності процесу у пунктах 7-8.

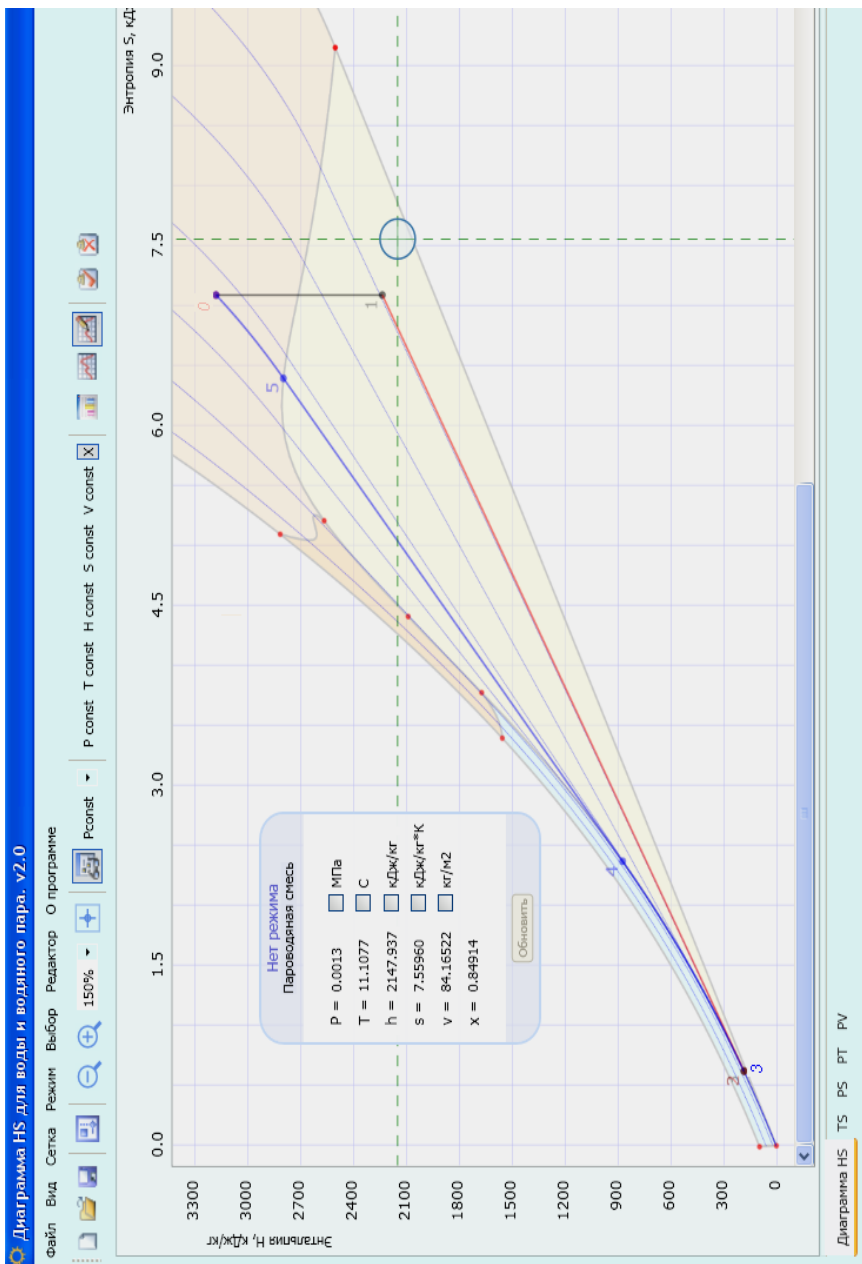


Рис.8. Цикл Ренкина в **h-s** діаграмі програми “HS-diagram v.2.01” .

Проміжний перегрів пари

При побудові циклу ПСУ з проміжним перегрівом пари пункти 1-7 такі ж, як і для циклу Ренкіна.

8. Побудова процесу розширення пари на лопатках ЧВТ турбіни **0-1**. Для визначення положення точки 1 на панелі інструментів встановлюємо режим **s-const** натисканням відповідної піктограми. На «Панелі даних» позначаємо параметр **p** і вносимо значення **p_{ппп}** у відповідний рядок і натискаємо **“Обновить”**. При натисканні на піктограму **“Добавить выбранную точку”** – отримуємо точку **1**. Значення параметрів з панелі даних для точки **1** переносимо до табл.3.

Таблиця 3.

Параметри точок циклу з проміжним перегрівом пари.

Параметри	Номер точки на діаграмі							
	0 (7)	1	2	3	4	5	6	7
p, МПа								
t, °C								
h, кДж/кг								
s, кДж/кг·К								
v, м ³ /кг								
x								

9. Побудова процесу проміжного перегрівання пари в проміжному пароперегрівачі **1-2**. Для визначення точки 2 на панелі інструментів встановлюємо режим **p-const** натисканням відповідної піктограми. На панелі даних позначаємо параметр **t** і вносимо значення

$t_{пп}$ у відповідний рядок і натискаємо “**Обновить**” та піктограму “**Добавить выбранную точку**” – отримуємо точку **2**. Значення параметрів з панелі даних для точки **2** переносимо до табл.3.

10. Побудова процесу розширення пари на лопатках ЧНТ турбіни **2-3**. Для визначення точки **3** на панелі інструментів встановлюємо режим **s-const**. На панелі даних позначаємо параметр **p** і вносимо значення **p_к** у відповідний рядок і натискаємо “**Обновить**” та піктограму “**Добавить выбранную точку**” – отримуємо точку **3**. Значення параметрів з панелі даних для точки **3** переносимо до табл.3.

11. Побудова процесу конденсації вологої пари в конденсаторі **3-4**. Встановлюємо режим **p-const**. Позначаємо на панелі даних параметр **x** і вносимо значення **0** у відповідний рядок і натискаємо “**Обновить**”, потім піктограму “**Добавить выбранную точку**” – отримуємо точку **4**. Значення параметрів з панелі даних для точки **4** переносимо до табл.3.

12. Побудова процесу стиснення живильної води в насосі **4-5**. Встановлюємо режим **s-const**. Позначаємо на панелі даних параметр **p** і вносимо значення **p₀** у відповідний рядок і натискаємо “**Обновить**”, потім піктограму “**Добавить выбранную точку**” – отримуємо точку **5**. Значення параметрів з панелі даних для точки **5** переносимо до табл.1.

13. Побудова процесу підігріву живильної води в водяному економайзері **5-6**. Встановлюємо режим **p-const**. Для побудови точ-

ки **6** необхідно за допомогою курсору перемістити рухому точку в область вологої насиченої пари, потім позначити на панелі даних параметр x і внести значення **0** у відповідний рядок. Натискаємо **“Обновить”** та піктограму **“Добавить выбранную точку”** – отримуємо точку **6**. Значення параметрів з панелі даних для точки **6** переносимо до табл.3.

14. Побудова процесу пароутворення в котлі **6-7**. Позначаємо на панелі даних параметр x і вносимо значення $x=1$, натискаємо **“Обновить”** та піктограму **“Добавить выбранную точку”** – отримуємо точку **7**. Значення параметрів з панелі даних для точки **7** переносимо до табл.3.

15. Побудова процесу перегріву пари в пароперегрівачі **7-8 (7-0)**. Позначаємо на панелі даних параметр T і вносимо значення t_0 , натискаємо **“Обновить”** та піктограму **“Добавить выбранную точку”** – отримуємо точку **8**.

Таким чином побудовано цикл з проміжним перегрівом пари в **h-s** діаграмі (рис.9) та **T-s** діаграмі (рис.10) програмного середовища **“HS-diagram v.2.01”**.

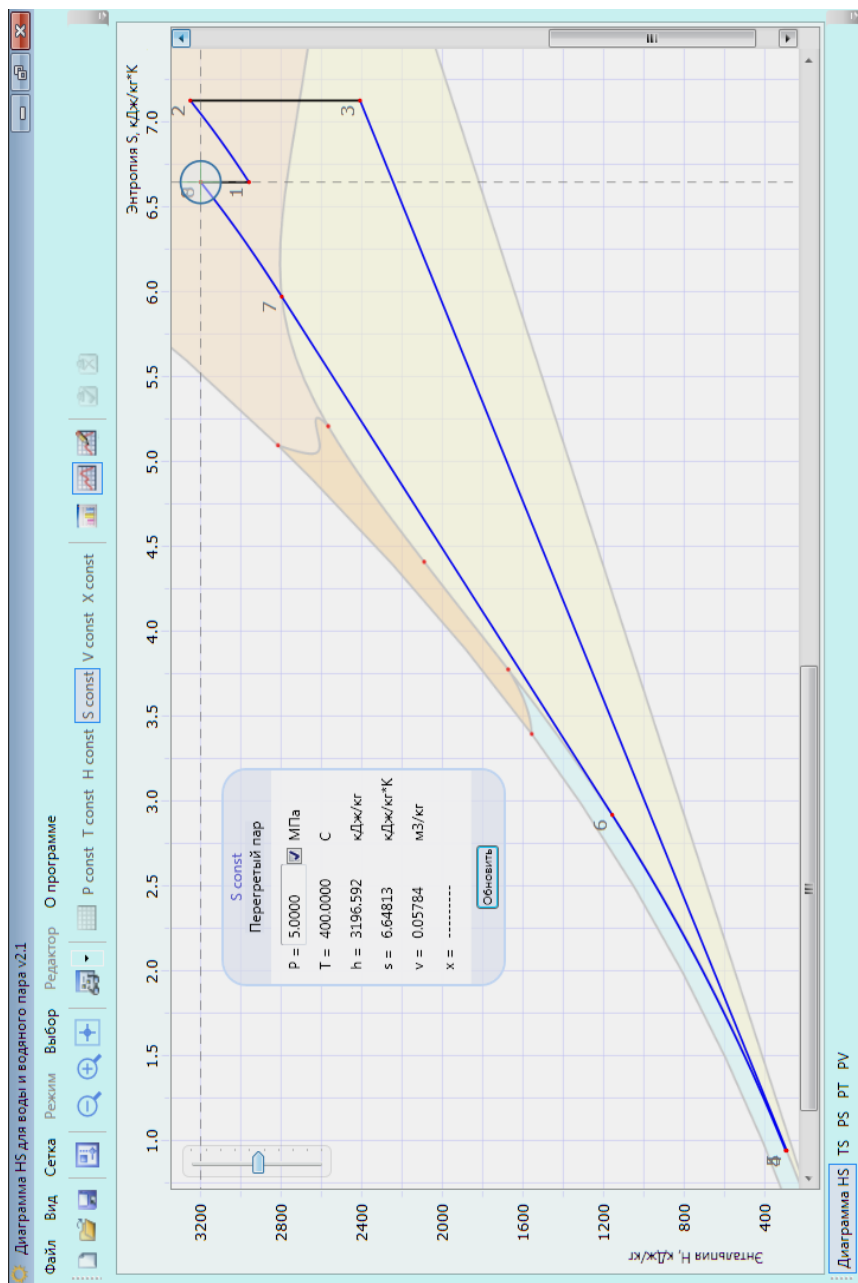


Рис.9. Цикл ПСУ з проміжним перегрівом пари в **h-s** діаграмі програми “**HS-diagram v.2.01**”.

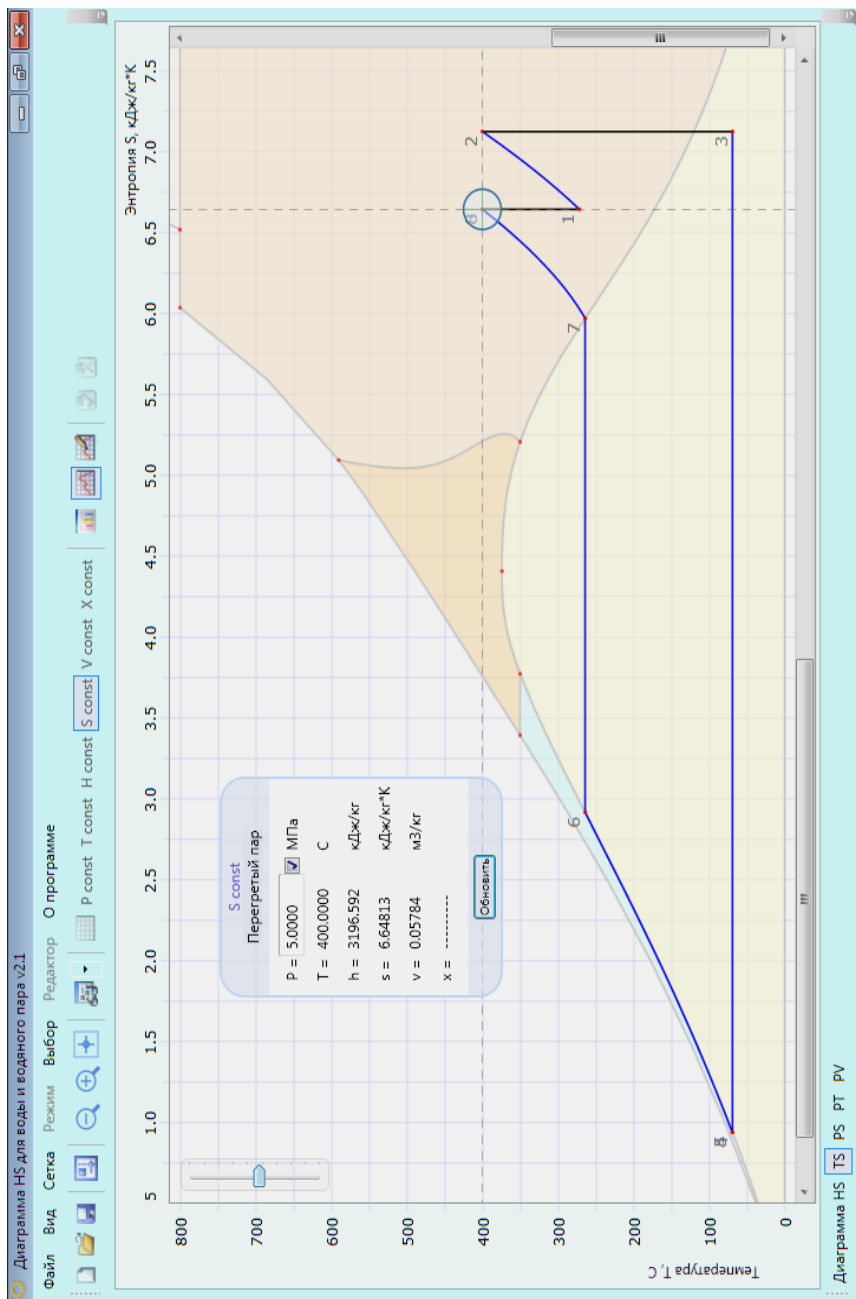


Рис.10. Цикл ПСУ з проміжним перегрівом пари в T- s діаграмі програми “HS-diagram v.2.01”.

Регенеративний цикл

При побудові регенеративного циклу ПСУ пункти 1-7 такі ж, як і для циклу Ренкіна.

8. Побудова процесу розширення пари на лопатках турбіни до першого відбору - **0-1**. Для визначення положення точки **1** на панелі інструментів встановлюємо режим **s-const**. На панелі даних позначаємо параметр **p** і вносимо значення **p₀₁** у відповідний рядок і натискаємо **“Обновить”**. При натисканні на піктограму **“Добавить выбранную точку”** – отримуємо точку **1**. Значення параметрів з панелі даних для точки **1** переносимо до табл.4.

Таблиця 4.

Параметри точок регенеративного циклу.

Параметри	Номер точки на діаграм														
	0 (15)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
p, МПа															
t, °C															
h, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$															
s, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$															
v, $\frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$															
x															

9. Побудова процесу розширення пари на лопатках турбіни від першого до другого відборів - **1-2**. Для визначення точки **2** на панелі даних позначаємо параметр **p** і вносимо значення **p₀₂** у відповідний рядок і натискаємо **“Обновить”**. При натисканні на піктограму **“Добавить выбранную точку”** – отримуємо точку **2**. Значення параметрів з панелі даних для точки **2** переносимо до табл.4.

10. Побудова процесу розширення пари на лопатках турбіни від другого до третього відборів - **2-3**. Для визначення точки **3** на панелі даних позначаємо параметр **p** і вносимо значення **p₀₃** у відповідний рядок і натискаємо **“Обновить”**. При натисканні на піктограму **“Добавить выбранную точку”** – отримуємо точку **3**. Значення параметрів з панелі даних для точки **3** переносимо до табл.4.

11. Побудова процесу розширення пари на лопатках турбіни від третього відбору до тиску в конденсаторі - **3-4**. Для визначення точки **4** на панелі даних позначаємо параметр **p** і вносимо значення **p_k** у відповідний рядок і натискаємо **“Обновить”**. При натисканні на піктограму **“Добавить выбранную точку”** – отримуємо точку **4**. Значення її параметрів з панелі даних переносимо до табл.4.

12. Побудова процесу конденсації вологої пари в конденсаторі **4-5**. Встановлюємо режим **p-const**. Позначаємо на панелі даних параметр **x** і вносимо значення **0** у відповідний рядок і натискаємо **“Обновить”**, потім піктограму **“Добавить выбранную точку”** – отримуємо точку **5**. Значення параметрів з панелі даних для точки **5** переносимо до табл.3.

13. Побудова процесу стиснення живильної води в насосі **5-6**. Встановлюємо режим **s-const**. Позначаємо на панелі даних параметр **p** і вносимо значення **p₀₃** у відповідний рядок і натискаємо “**Обновить**” потім піктограму “**Добавить выбранную точку**” – отримуємо точку **6**. Значення параметрів з панелі даних для точки **6** переносимо до табл.1.

14. Побудова процесу підігріву живильної води **6-7**. Встановлюємо режим **p-const**. Для побудови точки **7** необхідно за допомогою курсору перемістити рухому точку в область вологої насиченої пари, потім позначити на панелі даних параметр **x** і внести значення **0** у відповідний рядок. Натискаємо “**Обновить**” та піктограму “**Добавить выбранную точку**” – отримуємо точку **7**. Значення параметрів з панелі даних для точки **7** переносимо до табл.3.

15. Для побудови процесів **7-9**, **9-11** та **11-13** повторюємо позиції 13 та 14 з урахування значень тиску у точках: **8** - **p₀₂** , **10** - **p₀₁** та **12** - **p₀**. Значення параметрів отриманих точок заносимо до таб.4

16. Побудова процесу пароутворення в котлі **13-14**. Позначаємо на панелі даних параметр **x** і вносимо значення **1**, натискаємо “**Обновить**” та піктограму “**Добавить выбранную точку**” – отримуємо точку **14**. Значення параметрів з панелі даних для точки **14** переносимо до табл.3.

17. Побудова процесу перегріву пари в пароперегрівачі **14-15** (**14-0**). Позначаємо на панелі даних параметр **T** і вносимо значення

t_0 , натискаємо “Обновить” та піктограму “Добавить выбранную точку” – отримуємо точку 15.

Таким чином побудовано цикл з проміжним перегрівом пари в **h-s** діаграмі (рис. 11), **p-s** діаграмі (рис. 12) та **p-T** діаграмі (рис. 13) програмного середовища “**HS-diagram v.2.01**”.

5 ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

Комп’ютерний практикум проводити у наступній послідовності:

1. У відповідності з варіантом (Додаток 1), побудувати графічні зображення циклів ПСУ на діаграмах в програмному середовищі “**HS-diagram v.2.01**” з визначенням параметрів робочого тіла в характерних точках циклу.
2. Після побудови кожної точки її параметри заносяться до відповідних таблиць циклів.
3. Побудовані цикли повинні бути збережені на електронному носії та роздруковані у максимально можливому масштабі.

До звіту входять: мета роботи, необхідні теоретичні відомості, роздруковані цикли у **h-s**, **T-s** та **p-s** діаграмах та відповідні таблиці, висновки.

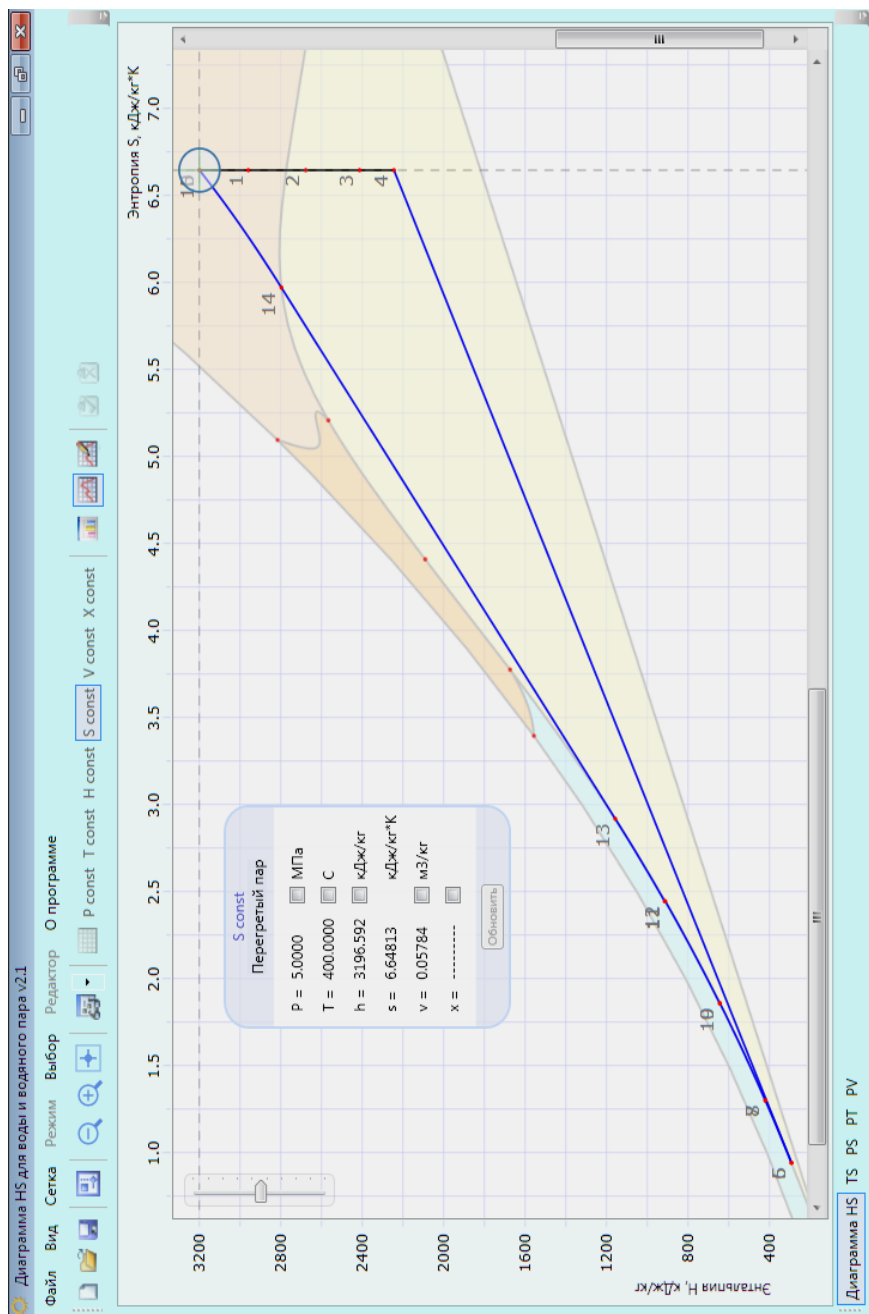


Рис.11. Регенеративний цикл ПСУ в **h - s** діаграмі програми ‘HS-diagram v.2.01’.

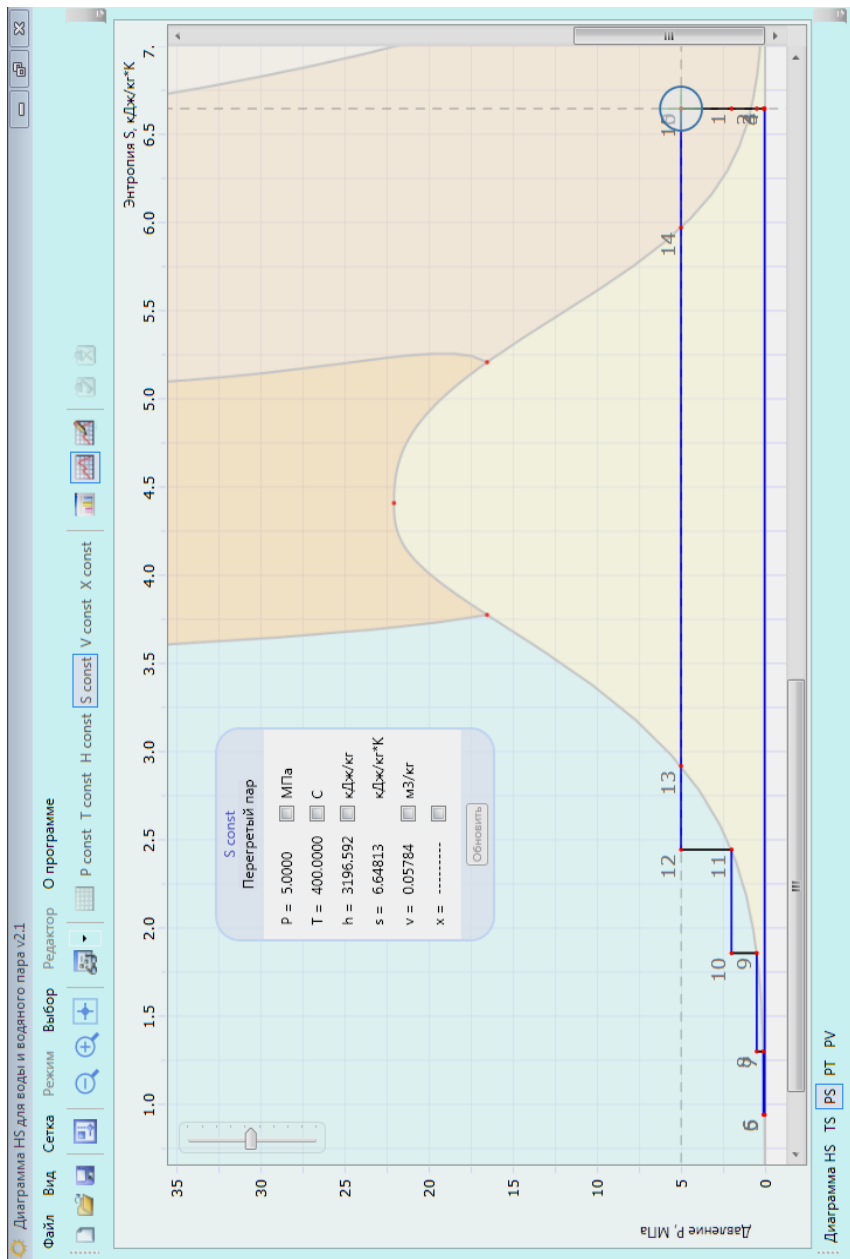


Рис.12. Регенеративный цикл ПСУ в p - s диаграмі програми ‘HS-diagram v.2.01’.

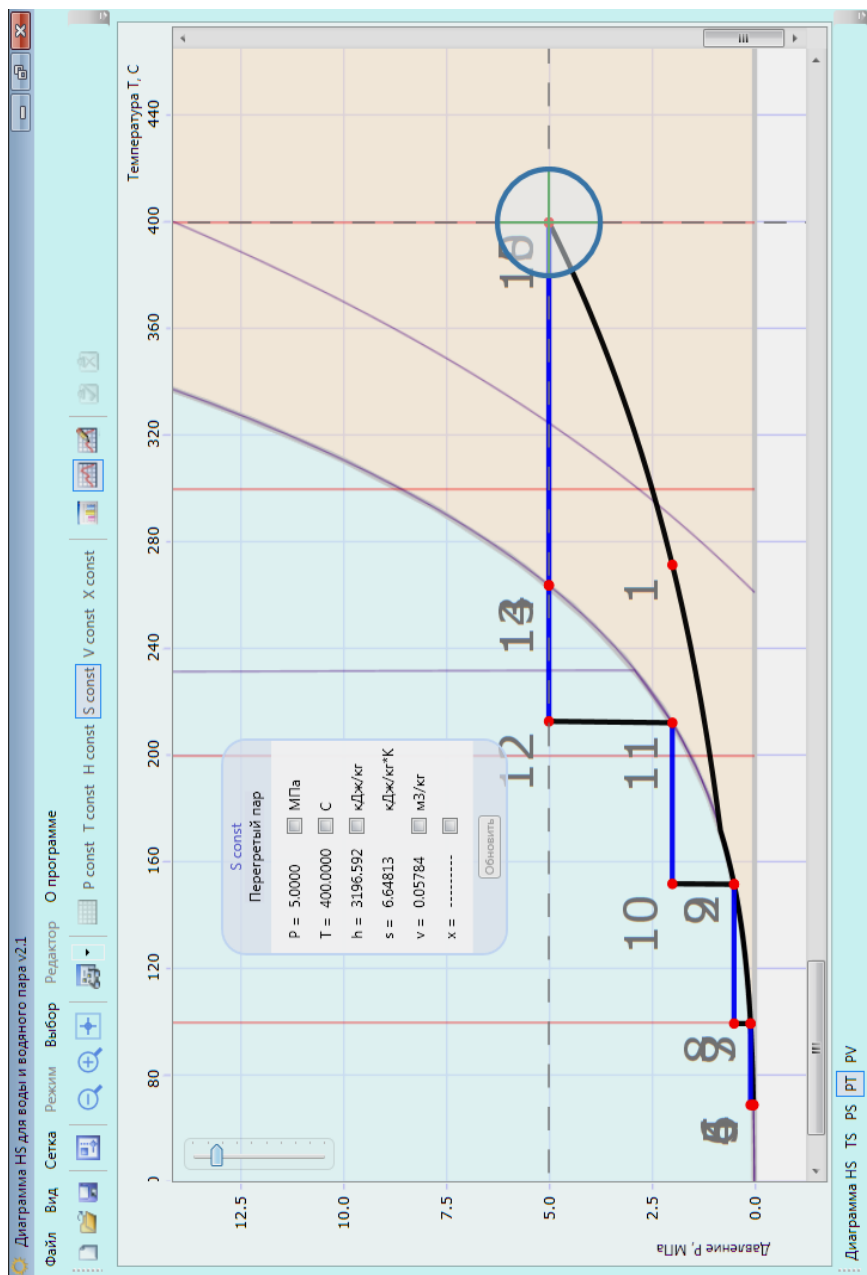


Рис.13. Регенеративний цикл ПСУ в р - Т діаграмі програми "HS-diagram v.2.01"

6 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. В чому полягає загальний метод розрахунку за **h-s** діаграмою?
2. Для чого призначена програма “**HS-diagram v.2.01**” і як вона відкривається?
4. Які команди розміщені в рядку головного меню?
5. Які піктограми команд ви знаєте?
6. Як і для чого використовується «Панель даних»?
7. Яким чином можна змінити масштаб діаграми?
8. В якому порядку виконується побудова циклу роботи ПСУ?
9. Як знайти положення точки **0**?
10. Який режим встановлюється на панелі інструментів для визначення точки **1** в процесі **0-1**?
11. Перерахувати послідовність дій при визначенні положення кінцевої точки процесу конденсації пари в конденсаторі?
12. Як відбувається побудова процесів стиснення води в насосі?
13. Які існують особливості побудови кінцевої точки процесу підігріву води в водяному економайзері?
14. За якими відомими параметрами будується точка сухої насиченої пари в процесі пароутворення?
15. Для чого використовується цикл з проміжним перегрівом пари (ППП)?
16. З яких частин складається турбіна в циклі з PPP?

17. Як побудувати процес розширення пари на лопатках ЧВТ в циклі з ППП?
18. Як визначити положення точки з параметрами пари проміжного перегріву в циклі з ППП?
19. Як отримати точку перед конденсатором?
20. Для чого використовується цикл з регенеративним підігрівом живильної води (РПЖВ)?
21. З яких процесів складається цикл з РПЖВ?
22. Як будується процес розширення пари на лопатках турбіни до першого відбору?
23. Як будується процес розширення пари на лопатках турбіни між першим та другим відборами?
24. Як будується процес розширення пари на лопатках турбіни між другим та третім відборами?
25. Як будується процес підігріву води в підігрівачах РПЖВ?
26. Чим обумовлена кількість підігрівачів РПЖВ?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. <http://neurothermal.narod.ru/diagramHS.htm>
2. Константінов С.М., Панов Є.М. Теоретичні основи теплотехніки. –К., «Золоті Ворота», 2012.– 592 с.
3. Ривкин С.Л. Термодинамические свойства воды и водяного пара: справочник / С.Л. Ривкин, А.А. Александров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 80 с.

